

# 社交具身代理类型与表现形式对代理接受度的影响

李峰香<sup>1</sup>, 郭伏<sup>1</sup>, 李明明<sup>2</sup>, 任增根<sup>1</sup>

(1. 东北大学 工商管理学院, 辽宁 沈阳 110169; 2. 安徽工业大学 管理科学与工程学院, 安徽 马鞍山 243032)

**摘要:**结合脑电、眼动追踪和主观问卷调查方法探究代理类型与表现形式如何影响用户神经生理及心理反应,进而影响社交具身代理接受度。结果表明:人们对动物类型代理感到更陌生,驱动了无意识的知觉处理和编码,占用更多的注意力资源;用户认为人物类型比动物类型代理更具有自主意识。动物类型代理和表现形式为真实形象的代理对用户具有较高的吸引力或者其复杂程度更高,需要用户投入较多注意力资源。与用户自身形象接近的真人女性代理的好感度最高,真宠物狗最低;真人女性代理的接受度最高,卡通女性和卡通宠物狗次之,真宠物狗最低。研究结论为设计虚拟社交伙伴类社交具身代理提供指导。

**关键词:**社交具身代理;代理类型;表现形式;代理接受度;虚拟社交伙伴;脑电;眼动追踪

中图分类号:TB 18 文献标志码:A 文章编号:1005-3026(2024)11-1656-08

## Impact of Social Embodied Agents' Type and Manifestation on Agent Acceptance

LI Feng-xiang<sup>1</sup>, GUO Fu<sup>1</sup>, LI Ming-ming<sup>2</sup>, REN Zeng-gen<sup>1</sup>

(1. School of Business Administration, Northeastern University, Shenyang 110169, China; 2. School of Management Science and Engineering, Anhui University of Technology, Maanshan 243032, China. Corresponding author: GUO Fu, E-mail: fguo@mail.neu.edu.cn)

**Abstract:** Combining the electroencephalogram, eye tracking, and subjective questionnaire survey methods, how social embodied agent type and manifestation could affect the neurophysiological and psychological responses of users, and then affect agent acceptance was explored. The results indicated that users feel more unfamiliar with agents with animal appearance, which drive unconscious perceptual processing and encoding, and take up more attention resources. Users perceive agents with human appearance to be more independently conscious than agents with animal appearance. Agents with animal appearance and agents manifested with real human or animal appearances are more attractive or complicated to users, which require users to invest more attention resources. Agents with real female appearance arouse the highest agent's likeability due to their resemblance to users' own images, while agents with real pet dog appearance evoke the lowest agent's likeability. User acceptance of agents with real female appearance is the highest, followed by agents with cartoon female appearance and cartoon pet dog appearance, while agents with real pet dog appearance is the lowest. The research results provide guidance for the design of social embodied agents as virtual social companions.

**Key words:** social embodied agent; agent type; manifestation; agent acceptance; virtual social companion; EEG (electroencephalogram); eye-tracking

社交具身代理的定义为“可以遵循人际交往的社会规则自主地与人类互动的具有虚拟形象的计算机控制的个体”<sup>[1]</sup>,其在未来社会的应用性受到各界的广泛关注,如电子健康、在线教育、电

子商务和心理治疗等领域。本文研究对象为社交具身代理,可以作为社交伙伴与用户实时进行对话沟通,并与用户建立融洽、信任的心理联结以及长期的社交关系。

收稿日期:2023-08-14

基金项目:国家自然科学基金资助项目(72071035)。

作者简介:李峰香(1993-),女,辽宁大连人,东北大学博士研究生;郭伏(1964-),辽宁开原人,东北大学教授,博士生导师。

人们通过视觉通道接收代理外观信息,然后经过大脑认知加工产生对代理的主观印象与评价,进而影响代理接受度的用户感知评价.拟人化,即一个主体表现出人类特征的程度,是影响人-代理交互过程中信任形成和修复的关键变量,也是用户与社交具身代理交互研究中重要的研究变量.根据外观物理形态可以将社交具身代理分为5类,包括现实类人型、卡通类人型、机器人型、现实动物型和卡通动物型.由于机器人型社交具身代理在视觉上会有明显的机械感,并不适合作为人们的情感联结对象.“恐怖谷假说”认为,在一定限度内增加代理类人度有利于提高用户感知评价,例如,类人型代理比机器人型代理的温暖度用户感知评价更高<sup>[2]</sup>.研究表明,当代理具有人类面部特征时,类人型代理比机器人型代理更容易被视为具有思想<sup>[3]</sup>,人们也倾向于对类人型社交具身代理提供的信息做出反应<sup>[4]</sup>.此外,卡通属性可以降低人们对代理行为准确性和交互复杂性的需求<sup>[5]</sup>,具有人类面部表情的卡通类人型代理也更受用户欢迎<sup>[6]</sup>.本文选取现实型和卡通型两种代理表现形式体现社交具身代理的拟人化程度.已有研究发现动物形态具身代理的用户感知评价高于类人外观代理,例如,老年用户对具有宠物猫外观特征的具身代理作为辅助社交代理的接受程度较高<sup>[7]</sup>.此外,相比于现实类人型代理,用户更喜欢卡通兔子形象的社交具身代理,然而,两者在感知亲和力评价上并没有显著差异,人们认为它们的感知亲和力都高于机器人型代理<sup>[8]</sup>.因此,本文选取类人型和动物型两种代理类型作为研究变量,分别将两种代理类型的社交具身代理以现实型和卡通型两种表现形式呈现,探究社交具身代理类型和表现形式对代理接受度的影响.

代理接受度的用户感知评价会受到用户注意力资源分配、大脑神经加工等一系列复杂的神经生理活动的影响,为了较为全面地探讨在这个过程中用户的生理心理活动,分别采用脑电(electroencephalogram, EEG)、眼动追踪(eye-tracking)和主观问卷调查3种方法测量用户的神经生理及心理反应.用户与机器人型具身代理交互过程中大脑EEG信号中的 $\theta$ 、 $\alpha$ 和 $\beta$ 节律波会随用户操作发生变化,通过分析3种节律波功率值,可以反映用户的大脑神经状态,如放松和警觉等<sup>[9]</sup>.已有研究使用眼动追踪定性分析了用户对人形机器人外观的视觉注意分布情况,指

出机器人头部吸引的用户注视次数更多<sup>[10]</sup>.因此,本研究测量用户浏览社交具身代理外观时诱发的 $\theta$ 、 $\alpha$ 和 $\beta$ 节律波功率值变化情况,同时记录用户的视觉注意分布情况.

## 1 研究方法

### 1.1 被试选择

招募30名在校大学生作为被试参与实验,所有被试视力或矫正视力正常,均为右利手,没有神经或精神疾病史.通过问卷调查可知,被试之前很少或没有社交具身代理使用经验.在实验正式开始前,被试被告知实验流程,并自愿签署书面实验同意书.

### 1.2 实验材料

本研究关注面向国内大学生的社交具身代理外观设计问题,在预实验中发现女性形象比男性形象代理更受欢迎,已有研究表明与用户年龄相近的代理评价更高<sup>[11]</sup>.此外,宠物狗作为人们生活中接触最多的动物,更易引发人们的熟悉感和亲近感,因此本文选择女性大学生和宠物狗形象作为社交具身代理外观原型.本文分别挑选出1张女性和宠物狗图片作为原型,使用AI处理软件分别制作成卡通形象,确认4张图片作为实验材料,包括真人女性图片、卡通女性图片、真宠物狗图片和卡通宠物狗图片,且图片处理成相同尺寸和背景.

### 1.3 实验过程

在脑电实验室进行实验,实验室防噪且照明光线柔和.邀请被试进入实验室后告知被试整个实验流程,并进行脑电测量设备的佩戴准备工作.实验正式开始后,要求被试认真阅读屏幕上的实验指导语,通过眼动校准后,屏幕中央随机呈现4张实验材料图片,每张图片呈现10s,实验材料图片之间呈现1.0~1.2s的十字空屏,直至被试观看完4张图片.实验任务采用E-Prime Professional(v 2.0)编程控制.实验结束后,移除脑电测量设备,被试填写主观问卷,对以上4种代理外观进行评价.

### 1.4 数据采集

1) 脑电数据采集.脑电信号由Neuroscan系统连续记录,选取34个电极记录EEG信号.同时记录双侧乳突、垂直和水平眼电(electrooculogram, EOG).EEG正式记录前,各电极阻抗均保持在5k $\Omega$ 以下,采样率为500Hz.2名被试的数据因脑电设

备故障被排除,对 28 名被试(平均年龄  $M=23.86$ ,  $SD=1.604$ )的信号进行处理,被试性别比例为 1:1.

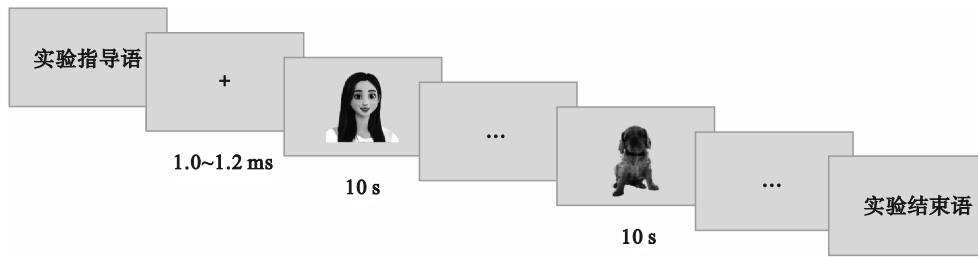


图 1 社交具身代理外观评价实验流程图

Fig. 1 Experimental flow chart of social embodied agents' appearance evaluation

2) 眼动数据采集. 实验采用德国 Senso Motoric Instruments(SMI)公司生产的 RED 遥测式眼动追踪系统采集被试浏览社交具身代理外观过程中的眼动数据,采样率为 500 Hz.

3) 主观评价数据采集. 主观问卷节选自一个经过验证的社交代理用户感知评价问卷工具 (artificial social agent questionnaire, ASAQ)<sup>[12]</sup>,探究社交具身代理类型和表现形式是否适合作为虚拟社交伙伴,以及用户对代理的好感度和接受度. 选取的测量变量包括代理外观适合性(agent's appearance suitability, AAS),代理好感度(agent's likeability, AL)和代理接受度(user acceptance of the agent, UAA).

### 1.5 数据分析

1) 脑电数据分析. 脑电数据采用 MNE 软件进行处理, MNE 软件是一种基于 Python 的生理信号处理软件<sup>[13]</sup>. 通过目测识别出不良通道,基于周围良好通道的信号进行插值. 连续脑电数据以双侧乳突的平均值作为参考,然后以 0.1~45 Hz 的截止频率进行滤波,提取实验材料的脑电数据. EEG 信号中的肌肉伪迹(包括眼球运动和眨眼)使用独立成分分析进行校正<sup>[14]</sup>.

2) 眼动数据分析. 使用 BeGaze 3.6 软件对眼动追踪数据进行处理和分析. 对代理外观进行兴趣区域(area of interest, AOI)划分, AOI1 覆盖代理外观整体区域, AOI2 和 AOI3 分别覆盖代理的眼部和唇部. 根据已有研究的结论,兴趣区域面积大小会影响该区域的注视次数和总注视时间<sup>[15]</sup>. 因此,本研究考察兴趣区域单位面积内的注视次数和总注视时间,以排除代理外观不同部位的面积差异可能带来的影响. 兴趣区域单位面积内的指标采用式(1)进行标准化:

$$\text{兴趣区域单位面积内的眼动指标} = \frac{\text{眼动指标} \times \text{刺激总面积}}{\text{兴趣区域面积}} \quad (1)$$

3) 主观评价数据分析. 将主观问卷的逆向题项评分取相反数,分别计算每名被试对 4 个实验材料在代理外观适合性、代理好感度和代理接受度 3 个维度的平均分.

## 2 分析结果

### 2.1 脑电数据分析结果

本研究主要关注顶区、顶-枕区和枕区(P3, PZ, P4, PO3, POZ, PO4, O1, OZ, O2)以及前额区和后额区(FP1, FPZ, FP2, F3, FZ, F4),对两个脑区进行  $\theta$ ,  $\alpha$  和  $\beta$  节律波功率分析, EEG 节律波功率平均值和标准差如表 1 所示. 使用重复测量方差分析进行数据分析,计算  $F$  值( $F$ =组间平均变异/误差平均变异),显著性  $p$  值和偏 eta 方( $\eta_p^2$ ).

顶区、顶-枕区和枕区  $\theta$  节律波功率的重复测量方差分析结果表明,代理类型的主效应显著 [ $F(1, 27)=5.787, p=0.023, \eta_p^2=0.177$ ], 动物类型代理比人物类型诱发更高的  $\theta$  节律波功率. 表现形式对该脑区  $\theta$  波功率的主效应不显著 [ $F(1, 27)=1.064, p=0.311, \eta_p^2=0.038$ ], 且其与代理类型的交互效应不显著 [ $F(1, 27)=2.482, p=0.127, \eta_p^2=0.084$ ].

代理类型对前额区和额区  $\theta$  节律波功率的主效应不显著 [ $F(1, 27)=1.984, p=0.170, \eta_p^2=0.068$ ], 表现形式的主效应不显著 [ $F(1, 27)=0.288, p=0.596, \eta_p^2=0.011$ ], 而两者的交互效应显著 [ $F(1, 27)=4.624, p=0.041, \eta_p^2=0.146$ ]. 代理类型的简单效应分析结果表明,真人女性代理诱发的  $\theta$  波功率与真宠物狗无显著差异( $p=0.831$ ),而卡通宠物狗诱发的  $\theta$  波功率显著大于卡通女性( $p=0.027$ ). 表现形式的简单效应分析结果表明,真人女性代理诱发的  $\theta$  波功率与卡通女性无显著差异( $p=0.242$ ),且真宠物狗诱发的  $\theta$  波功率与卡通宠物狗无显著差异( $p=0.110$ ).

表 1 EEG 节律波功率的平均值和标准差

Table 1 Mean and standard deviation of EEG rhythm power

dB

代理类型	脑区	$\theta$		$\alpha$		$\beta$	
		均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差
真人女性	顶区、顶-枕区和枕区	0.031	0.009	0.029	0.019	0.029	0.019
	前额区和后额区	0.035	0.010	0.029	0.017	0.010	0.004
卡通女性	顶区、顶-枕区和枕区	0.030	0.008	0.028	0.016	0.028	0.016
	前额区和后额区	0.033	0.007	0.030	0.018	0.010	0.003
真宠物狗	顶区、顶-枕区和枕区	0.032	0.006	0.028	0.014	0.028	0.014
	前额区和后额区	0.034	0.010	0.028	0.013	0.009	0.003
卡通宠物狗	顶区、顶-枕区和枕区	0.035	0.010	0.029	0.015	0.029	0.015
	前额区和后额区	0.038	0.010	0.027	0.012	0.009	0.002

代理类型对前额区和额区 $\beta$ 节律波功率的主效应显著 [ $F(1, 27)=9.552, p=0.005, \eta_p^2=0.261$ ], 表现形式的主效应不显著 [ $F(1, 27)=1.546, p=0.224, \eta_p^2=0.054$ ], 且两者的交互效应不显著 [ $F(1, 27)=1.889, p=0.181, \eta_p^2=0.065$ ].

## 2.2 眼动数据分析结果

眼动追踪热区如图 2 所示, 被试对代理的注视主要分布在眼睛和唇部. 不同外观区域的眼动指标均值和标准差如表 2 所示, 仅报告代理外观整体作为兴趣区域的眼动指标的重复测量方差分析结果.

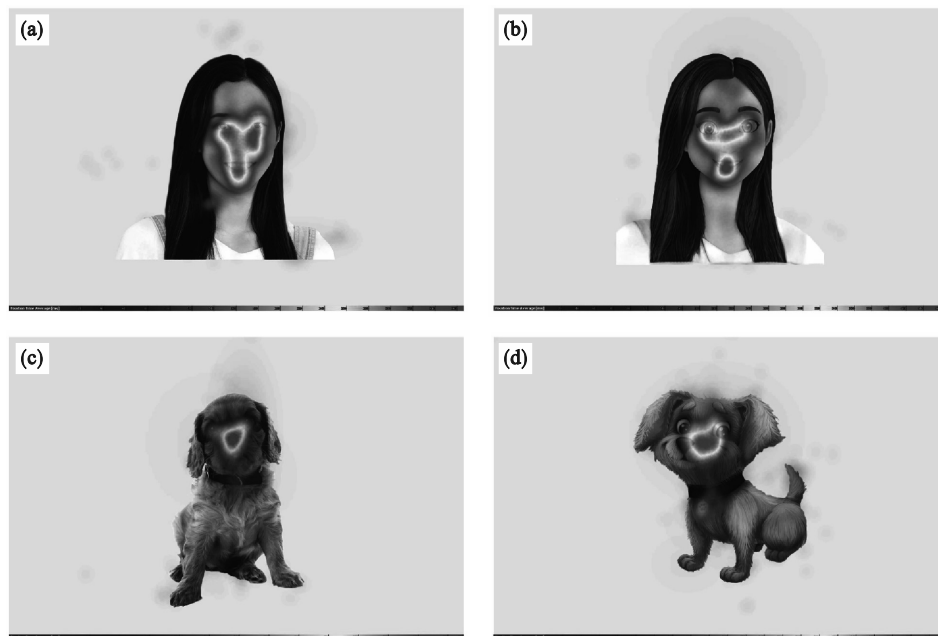


图 2 社交具身代理外观的热区图

Fig. 2 Heat maps of social embodied agent appearance

(a)—真人女性; (b)—卡通女性; (c)—真宠物狗; (d)—卡通宠物狗.

对于首次注视持续时间, 代理类型的主效应显著 [ $F(1, 26)=11.948, p=0.002, \eta_p^2=0.315$ ], 动物类型的代理能够吸引被试更长的首次注视持续时间. 然而, 表现形式的主效应不显著 [ $F(1, 26)=3.158, p=0.087, \eta_p^2=0.017$ ], 且其与代理类型的交互效应不显著 [ $F(1, 26)=0.040, p=0.843, \eta_p^2=0.002$ ].

对于平均注视时间, 代理类型的主效应显著

[ $F(1, 26)=34.352, p<0.001, \eta_p^2=0.569$ ], 动物类型比人物类型代理吸引被试更长的平均注视时间. 表现形式的主效应不显著 [ $F(1, 26)=3.108, p=0.090, \eta_p^2=0.107$ ], 而两者的交互效应显著 [ $F(1, 26)=8.403, p=0.008, \eta_p^2=0.244$ ]. 代理类型的简单效应分析结果表明, 真宠物狗的平均注视时间显著大于真人女性 ( $p<0.001$ ), 而卡通宠物狗显著大于卡通女性 ( $p=0.005$ ). 表现形式的简单效

应分析结果表明,真人女性代理的平均注视时间与卡通女性代理无显著差异( $p=0.214$ ),而真宠物狗显著大于卡通宠物狗( $p=0.005$ ).

表 2 不同外观兴趣区域的眼动指标均值和标准差

Table 2 Mean and standard deviation of eye-tracking metrics in different AOIs

代理类型	AOI	首次注视持续时间/ $\mu\text{s}$		平均注视时间/ $\mu\text{s}$		注视次数/个		总注视时间/ $\mu\text{s}$	
		均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差
真人女性	唇部	0.123	5.876	0.118 6	4.794	520.468	239.563	0.011	0.535
	眼睛	9.347	6.437	8.740	4.035	678.451	340.133	0.013	0.699
	整体	653.933	437.866	596.307	206.382	92.112	21.911	0.184	5.101
卡通女性	唇部	0.104	7.181	0.129	8.963	403.509	215.528	0.944	0.627
	眼睛	8.210	6.026	7.783	2.107	560.664	234.184	0.012	0.540
	整体	576.831	370.173	642.263	204.014	90.677	19.298	0.198	4.901
真宠物狗	唇部	0.142	0.127	0.133	9.031	514.161	381.427	0.010	0.713
	眼睛	0.125	0.117	0.110	5.241	535.185	317.083	0.013	0.974
	整体	869.753	361.322	940.822	321.037	130.767	31.535	0.274	7.737
卡通宠物狗	唇部	9.729	6.561	9.195	4.434	324.074	247.134	0.734	0.610
	眼睛	8.166	6.611	8.088	3.848	354.938	234.102	0.776	0.554
	整体	771.049	360.530	807.266	291.330	110.404	38.299	0.234	7.987

对于注视次数,代理类型的主效应显著 [ $F(1,26)=46.175, p<0.001, \eta_p^2=0.640$ ],动物类型代理能够吸引被试更多的注视次数.表现形式的主效应显著 [ $F(1,26)=6.563, p=0.017, \eta_p^2=0.202$ ],真实形象代理比卡通形象代理吸引更多的注视次数.同时,两者的交互效应显著 [ $F(1,26)=7.807, p=0.010, \eta_p^2=0.231$ ].代理类型的简单效应分析结果表明,真宠物狗的注视次数显著大于真人女性 ( $p<0.001$ ),而卡通宠物狗显著大于卡通女性 ( $p=0.004$ ).表现形式的简单效应分析结果表明,真人女性代理的注视次数与卡通女性代理无显著差异 ( $p=0.699$ ),而真宠物狗显著大于卡通宠物狗 ( $p=0.006$ ).

总注视时间的分析结果表明,代理类型的主效应显著 [ $F(1,26)=78.329, p<0.001, \eta_p^2=0.751$ ],动物类型比人物类型代理吸引被试更长的总注视时间.表现形式的主效应显著 [ $F(1,26)=4.620, p=0.041, \eta_p^2=0.151$ ],其与代理类型的交互效应显著 [ $F(1,26)=12.652, p=0.001, \eta_p^2=0.327$ ].代理类型的简单效应分析结果表明,真宠物狗的总注视时间显著大于真人女性 ( $p<0.001$ ),而卡通宠物狗显著大于卡通女性 ( $p=0.005$ ).表现形式的简单效应分析结果表明,卡通女性代理的总注视时间显著大于真人女性 ( $p=0.023$ ),而真宠物狗显著大于卡通宠物狗 ( $p=0.004$ ).

### 2.3 主观评价数据分析结果

不同实验材料图片的主观评价平均值和标

准差如表3所示.代理外观适合性的重复测量方差分析结果表明,代理类型的主效应显著 [ $F(1,29)=7.543, p=0.010, \eta_p^2=0.206$ ],人物类型比动物类型代理外观适合性评分更高.表现形式的主效应不显著 [ $F(1,29)=3.109, p=0.088, \eta_p^2=0.097$ ],其与代理类型的交互效应显著 [ $F(1,29)=29.356, p<0.001, \eta_p^2=0.503$ ].代理类型的简单效应分析结果表明,真人女性的代理外观适合性显著大于真宠物狗 ( $p<0.001$ ),而卡通女性与卡通宠物狗无显著差异 ( $p=0.550$ ).表现形式的简单效应分析结果表明,真人女性的代理外观适合性显著大于卡通女性 ( $p<0.001$ ),而真宠物狗与卡通宠物狗无显著差异 ( $p=0.088$ ).

表 3 不同代理类型的主观评价平均值和标准差

Table 3 Mean and standard deviation of subjective evaluation on different agent types

代理类型	代理外观适合性		代理好感度		代理接受度	
	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差
真人女性	2.489	1.009	2.133	1.218	1.844	1.625
卡通女性	1.311	1.422	1.027	1.575	1.033	1.584
真宠物狗	0.622	1.951	0.833	1.796	0.489	1.937
卡通宠物狗	1.033	1.662	1.073	1.666	0.922	1.726

代理好感度的分析结果表明,代理类型的主效应不显著 [ $F(1,29)=2.478, p=0.126, \eta_p^2=0.079$ ],而表现形式主效应显著 [ $F(1,29)=4.367, p=0.046$ ,

$\eta_p^2=0.131$ ], 且其与代理类型的交互效应显著 [ $F(1, 29)=16.409, p<0.001, \eta_p^2=0.361$ ]. 代理类型的简单效应分析结果表明, 真人女性的代理好感度显著大于真宠物狗 ( $p=0.001$ ), 而卡通女性与卡通宠物狗无显著差异 ( $p=0.924$ ). 表现形式的简单效应分析结果表明, 真人女性的代理好感度显著大于卡通女性 ( $p<0.001$ ), 而真宠物狗与卡通宠物狗无显著差异 ( $p=0.343$ ).

代理接受度的分析结果表明, 代理类型的主效应不显著 [ $F(1, 29)=3.648, p=0.066, \eta_p^2=0.112$ ], 表现形式的主效应不显著 [ $F(1, 29)=0.685, p=0.415, \eta_p^2=0.023$ ], 而其与代理类型的交互效应显著 [ $F(1, 29)=15.236, p=0.001, \eta_p^2=0.344$ ]. 代理类型的简单效应分析结果表明, 真人女性的代理接受度显著大于真宠物狗 ( $p=0.002$ ), 而卡通女性与卡通宠物狗无显著差异 ( $p=0.797$ ). 表现形式的简单效应分析结果表明, 真人女性的代理接受度显著大于卡通女性 ( $p=0.006$ ), 而真宠物狗与卡通宠物狗无显著差异 ( $p=0.140$ ).

### 3 讨 论

#### 3.1 脑电实验结果讨论

实验结果显示, 代理类型对顶区、顶-枕区和枕区的  $\theta$  节律波功率的主效应显著, 动物类型比人物类型代理诱发更高的  $\theta$  节律波功率.  $\theta$  振荡反映了记忆过程, 比如从长期记忆中提取信息以及将信息编码到长期记忆中<sup>[16-17]</sup>. 研究发现, 机器人型代理比人类型代理诱发用户更大的  $\theta$  振荡功率, 可能是因为机器人型代理的外观信息处理对记忆系统的需求更大, 特别是在典型的人类行为背景下, 不太可能与强语义联系在一起, 而强语义联系可以帮助将视觉输入映射到长期记忆中的现有表征<sup>[18]</sup>. 同理, 动物类型代理相比于人物类型代理与“社交具身代理”这一语义联系更弱, 将视觉输入与现有语义知识相结合的困难可能表现为  $\theta$  节律波功率增加. 此外,  $\theta$  节律波活动被认为与物理特征中情感信息的检测有关<sup>[19-21]</sup>, 由外部刺激无意识驱动<sup>[22-23]</sup>. 动物类型比人物类型代理诱发更大的  $\theta$  节律波振荡, 这可能是由于用户对动物类型代理感到更陌生, 驱动了无意识的知觉处理和编码, 并占用更多的注意力资源.

代理类型和表现形式对前额区和额区  $\theta$  节律波功率均不具有显著的主效应, 而两者的交互效

应显著. 进一步分析可知, 真人女性代理诱发的  $\theta$  波功率与真宠物狗无显著差异, 而卡通宠物狗诱发的  $\theta$  波功率显著大于卡通女性; 真人女性代理诱发的  $\theta$  波功率与卡通女性无显著差异, 且真宠物狗与卡通宠物狗亦无显著差异, 这说明卡通宠物狗相比于卡通女性代理需要更多的注意力资源. 先前针对色彩的研究发现,  $\theta$  节律波功率的变化与对色彩的无意识注意力分配有关, 支持本研究的发现<sup>[21]</sup>.

代理类型对前额区和额区  $\beta$  波功率的主效应显著, 人物类型相比于动物类型代理引起更大功率的  $\beta$  节律波振荡.  $\beta$  节律波是清醒用户积极思考的特征表现<sup>[24]</sup>, 被证明是有意识休息期间自发认知操作的可靠指标<sup>[25]</sup>. 已有研究发现, 用户静息状态下的  $\beta$  节律波振荡可以区分用户将机器人行为解释为机械性的行为或有意识的行为<sup>[26]</sup>. 人物类型代理诱发更大的  $\beta$  节律波功率, 说明用户会自发辨别两种类型代理是否具有意识, 即代理是否具有作为虚拟社交伙伴应具备的社交能力, 结果表明用户认为人物类型比动物类型代理更具有自主意识.

#### 3.2 眼动实验结果讨论

通过热区图分析可以看出, 被试对代理的注视主要分布在眼睛和唇部, 是社交具身代理开发者和研究者需要关注的区域. 代理类型对首次注视持续时间的主效应显著, 动物类型代理能够吸引用户更长的首次注视持续时间. 通常认为, 首次注视时间与刺激的视觉显著度有关, 首次注视时间持续越长, 表示该刺激的显著程度越高. 因此, 可以推测动物类型比人物类型代理的视觉显著度更高, 这也与脑电实验结果一致, 说明用户对动物类型代理感到更陌生, 驱动了无意识的知觉处理和编码, 并占用更多的注意力资源.

代理类型对平均注视时间的主效应显著, 动物类型比人物类型代理吸引被试更长的平均注视时间, 代理类型与表现形式的交互效应显著. 平均注视时间作为衡量单次注视时间长短的指标, 能够反映单次注视投入的视觉资源的程度, 与视觉信息处理的加工深度有关<sup>[27]</sup>. 研究结果说明, 用户对动物类型代理投入的视觉资源更多, 这是因为不熟悉的代理类型会驱动无意识的知觉加工, 占用更多注意力资源. 真宠物狗外观受到其品种、神态等因素影响, 用户可能在看到真宠物狗时需要调动更多的记忆资源进行视觉信息深度加工, 而卡通宠物狗形象较为统一,

可以推测用户会对真宠物狗投入更多的注意力资源.

代理类型对注视次数的主效应显著,动物类型代理能够吸引被试更多的注视次数.表现形式的主效应显著,真实形象的代理吸引更多的注视次数,两者的交互效应显著.注视次数与兴趣区域的吸引力或复杂程度有关<sup>[27]</sup>.研究结果表明,动物类型代理和表现形式为真实形象的代理对用户具有较高的吸引力或者其复杂程度更高,需要用户投入较多注意力资源.

代理类型对总注视时间的主效应显著,动物类型比人物类型代理吸引被试更长的总注视时间.表现形式的主效应显著,其与代理类型的交互效应显著.在用户有充分浏览时间的情况下,用户偏好或不偏好的智能手机外观的注视次数和总注视时间并无显著差异<sup>[28]</sup>.总注视时间与注视次数强相关,总注视时间较长是由于注视次数较多而不是单纯盯着物体<sup>[29]</sup>.本研究中总注视时间的研究结果与注视次数基本一致,符合以上研究的相关结论.

### 3.3 主观评价实验结果讨论

代理类型对代理外观适合性的主效应显著,人物类型比动物类型代理外观适合性评分更高,代理类型与表现形式的交互效应显著.用户认为人物类型代理更适合作为虚拟社交伙伴,这与人们对该类型代理的熟悉度较高有关,与已有研究结论一致,即类人程度越高的代理被认为智能程度越高,更能符合作为虚拟社交伙伴的社会功能属性<sup>[30]</sup>.

表现形式对代理好感度的主效应显著,且其与代理类型的交互效应显著.用户对不同类型的代理好感度差异不显著,真人女性的代理好感度最高,真宠物狗最低,人们会更喜欢与自身形象接近的代理,最不喜欢现实生活中存在的宠物狗形象.因此,设计社交具身代理作为虚拟社交伙伴时,需要使代理外观更加接近用户本身形象,同时避免使用真实宠物形象,因为其较难使用户产生情感联结.

代理类型和表现形式均对代理接受度的主效应不显著,而两者的交互效应显著.真人女性代理接受度最高,卡通女性和卡通宠物狗次之,真宠物狗最低.综上所述,人们较容易接受与人类外观形象相近的代理,而真实动物形象的代理与人们对虚拟社交伙伴的固有印象相悖,因而其接受度最低.

## 4 结 论

1) 代理类型对顶区、顶-枕区和枕区的 $\theta$ 节律波功率的主效应显著;代理类型和表现形式对前额区和额区 $\theta$ 节律波功率的交互效应显著;代理类型对前额区和额区 $\beta$ 波功率的主效应显著.人们对动物类型代理感到更陌生,驱动了无意识的知觉处理和编码,并占用更多的注意力资源.同时,用户认为人物类型比动物类型代理更具有自主意识.

2) 代理类型对首次注视持续时间的主效应显著;代理类型对平均注视时间的主效应显著,且两者交互效应显著;代理类型与表现形式对注视次数的主效应显著,且两者的交互效应显著;代理类型与表现形式对总注视时间的主效应显著,且两者的交互效应显著.动物类型代理和表现形式为真实形象的代理对用户具有较高的吸引力或者其复杂程度更高,需要投入较多注意力资源.

3) 代理类型对代理外观适合性的主效应显著,且两者交互效应显著;表现形式对代理好感度的主效应显著,且两者交互效应显著;与用户自身形象接近的真人女性的代理好感度最高,真宠物狗最低;代理类型和表现形式对代理接受度的交互效应显著,真人女性代理接受度最高,卡通女性和卡通宠物狗次之,真宠物狗最低.

### 参考文献:

- [1] Fitriani S, Bruijnes M, Richards D, et al. What are we measuring anyway? a literature survey of questionnaires used in studies reported in the intelligent virtual agent conferences[C]//Proceedings of the 19th ACM International Conference on Intelligent Virtual Agents. New York: ACM, 2019: 159-161.
- [2] Bergmann K, Eyssel F, Kopp S. A second chance to make a first impression? how appearance and nonverbal behavior affect perceived warmth and competence of virtual agents over time [C]//Intelligent Virtual Agents. Berlin: Springer, 2012: 126-138.
- [3] Kiesler S, Powers A, Fussell S R, et al. Anthropomorphic interactions with a robot and robot-like agent [J]. *Social Cognition*, 2008, 26(2): 169-181.
- [4] Hofree G, Ruvolo P, Reinert A, et al. Behind the robot's smiles and frowns: in social context, people do not mirror android's expressions but react to their informational value [J]. *Frontiers in Neurobotics*, 2018, 12: 1-11.
- [5] De Angeli A. To the rescue of a lost identity: social perception in human-chatbot interaction [C]//Proceedings of the Joint Symposium on Virtual Social Agents. Bath: AISB, 2005: 7-14.
- [6] Buisine S, Martin J C. The effects of speech-gesture

- cooperation in animated agents' behavior in multimedia presentations[J].*Interacting with Computers*, 2007, 19(4): 484-493.
- [ 7 ] Heerink M, Kröse B, Evers V, et al. Assessing acceptance of assistive social agent technology by older adults: the almere model[J].*International Journal of Social Robotics*, 2010, 2(4):361-375.
- [ 8 ] Bailenson J N, Swinth K, Hoyt C, et al. The independent and interactive effects of embodied-agent appearance and behavior on self-report, cognitive, and behavioral markers of copresence in immersive virtual environments[J].*Presence*, 2005, 14(4):379-393.
- [ 9 ] Wu L W, Liao H C, Hu J S, et al. Brain-controlled robot agent: an EEG-based eRobot agent [J].*Industrial Robot*, 2008, 35(6):507-519.
- [10] Liu Y, Li F, Tang L H, et al. Detection of humanoid robot design preferences using EEG and eye tracker [C]//2019 International Conference on Cyberworlds (CW). New York: IEEE, 2019:219-224.
- [11] Flandorfer P. Population ageing and socially assistive robots for elderly persons: the importance of sociodemographic factors for user acceptance [J]. *International Journal of Population Research*, 2012, 2012(1):829835.
- [12] Fitrianie S, Bruijnes M, Li F, et al. The artificial-social-agent questionnaire: establishing the long and short questionnaire versions [C]//Proceedings of the 22nd ACM International Conference on Intelligent Virtual Agents. New York: ACM, 2022:1-8.
- [13] Gramfort A, Luessi M, Larson E, et al. MEG and EEG data analysis with MNE-Python [J].*Frontiers in Neuroscience*, 2013, 7:1-13.
- [14] Ablin P, Cardoso J F, Gramfort A. Faster independent component analysis by preconditioning with Hessian approximations[J].*IEEE Transactions on Signal Processing*, 2018, 66(15):4040-4049.
- [15] Guo K, Tunnicliffe D, Roebuck H. Human spontaneous gaze patterns in viewing of faces of different species [J].*Perception*, 2010, 39(4):533-542.
- [16] Kahana M J, Seelig D, Madsen J R. Theta returns[J].*Current Opinion in Neurobiology*, 2001, 11(6):739-744.
- [17] Klimesch W, Freunberger R, Sauseng P. Oscillatory mechanisms of process binding in memory[J].*Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 2010, 34(7):1002-1014.
- [18] Urgen B A, Plank M, Ishiguro H, et al. EEG theta and Mu oscillations during perception of human and robot actions[J].*Frontiers in Neurobotics*, 2013, 7:1-13.
- [19] Başar E, Güntekin B, Öniz A. Principles of oscillatory brain dynamics and a treatise of recognition of faces and facial expressions[J].*Progress in Brain Research*, 2006, 159: 43-62.
- [20] Aftanas L I, Varlamov A A, Pavlov S V, et al. Affective picture processing: event-related synchronization within individually defined human theta band is modulated by valence dimension[J].*Neuroscience Letters*, 2001, 303(2): 115-118.
- [21] Kawasaki M, Yamaguchi Y. Effects of subjective preference of colors on attention-related occipital theta oscillations [J].*NeuroImage*, 2012, 59(1):808-814.
- [22] Knyazev G G, Slobodskoj-Plusnin J Y, Bocharov A V. Gender differences in implicit and explicit processing of emotional facial expressions as revealed by event-related theta synchronization[J].*Emotion*, 2010, 10(5):678-687.
- [23] Uusberg A, Thiruchselvam R, Gross J J. Using distraction to regulate emotion: insights from EEG theta dynamics [J].*International Journal of Psychophysiology*, 2014, 91(3): 254-260.
- [24] Constant I, Sabourdin N. The EEG signal: a window on the cortical brain activity[J].*Pediatric Anesthesia*, 2012, 22(6): 539-552.
- [25] Jann K, Kottlow M, Dierks T, et al. Topographic electrophysiological signatures of fMRI resting state networks[J].*PloS One*, 2010, 5(9):e12945.
- [26] Bossi F, Willemse C, Cavazza J, et al. The human brain reveals resting state activity patterns that are predictive of biases in attitudes toward robots[J].*Science Robotics*, 2020, 5(46):eabb6652.
- [27] Amso D, Haas S, Markant J. An eye tracking investigation of developmental change in bottom-up attention orienting to faces in cluttered natural scenes[J].*PloS One*, 2014, 9(1): e85701.
- [28] Guo F, Ding Y, Liu W L, et al. Can eye-tracking data be measured to assess product design? visual attention mechanism should be considered [J].*International Journal of Industrial Ergonomics*, 2016, 53:229-235.
- [29] Herten N, Otto T, Wolf O T. The role of eye fixation in memory enhancement under stress-an eye tracking study[J].*Neurobiology of Learning and Memory*, 2017, 140:134-144.
- [30] Martini M C, Gonzalez C A, Wiese E. Seeing minds in others-can agents with robotic appearance have human-like preferences?[J].*PloS One*, 2016, 11(1):e0146310.